

学校编码: 10384

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

学号: 31520090153708

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

博 士 学 位 论 文

音乐对脑功能网络影响的认知研究

A Cognitive Study of the Influences of Music on  
Brain Functional Networks

吴 俊 杰

指导教师姓名: 周 昌 乐 教授

专 业 名 称: 人 工 智 能 基 础

论文提交日期: 2013 年 4 月

论文答辩日期: 2013 年 6 月

学位授予日期: 2013 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2013 年 4 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于  
年    月    日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年    月    日

## 摘要

音乐认知研究对于揭示大脑之谜具有重要的科学意义，正日益受到关注。随着研究的逐步深入，研究者发现不同脑区之间相互协作构成的脑网络与音乐认知密切相关，并且音乐听赏会引起大脑功能性连接的改变。本文以上述发现作为出发点，从复杂脑网络的角度深入研究音乐对 EEG 功能网络的影响，主要工作包括三部分内容：

首先，本文采用相位相干和图论分析工具研究了古琴音乐认知状态下  $\alpha$  频段功能网络，实验结果证实了脑网络的小世界特征，而且还发现聆听古琴音乐时大脑同步水平的增强以及网络拓扑结构的改变，具有更明显的小世界性质，说明脑内信息传递更为高效。

然后，本文使用不易受容积传导影响的相滞指数作为功能性连接测度，考察了古琴音乐听赏时不同频段的功能网络结构以及音乐片段之间的差异。我们发现音乐认知引起更高的脑区同步水平，以及较为随机的网络结构，这一变化在  $\alpha_2$  频段尤为明显。此外，并未发现音乐片段之间的差异。研究结果为聆听音乐时功能网络结构会发生改变提供了证据，同时还表明音乐认知使得脑网络趋于高效但不经济的结构，需要有更多的脑内信息加工和认知努力。

最后，本文从跨文化音乐的角度展开研究，探讨了中西文化的代表音乐（古琴和钢琴音乐）对不同频段功能网络的影响。结果表明与古琴音乐相比，聆听钢琴音乐时大脑总体同步水平较高，趋于更为优化的小世界网络结构，并且两种音乐的差异主要在  $\alpha_1$  频段。

以上三个研究加深了我们对音乐听赏时的功能性连接模式和神经机制等问题的理解，在一定程度上填补了音乐认知研究的空白。

**关键词：**音乐认知；脑网络；复杂网络；跨文化音乐；脑电

## Abstract

More and more attention is paid to the study of music perception, since it has important scientific significance for revealing the mystery of the brain. Music perception requires extensive functional co-operation between different cortical areas. Moreover, listening to music can produce a change in functional connectivity. Based on these findings, this dissertation explores the influences of music on EEG functional networks, and it contains some contents as follows:

First, we used phase coherence and graph theoretical measures to investigate alpha-band functional networks during Guqin music perception. The experimental results further supported prominent small-world features in brain networks. Also, increased connectivity and topological change were found in functional networks in response to Guqin music, with an enhancement of small-world properties, which demonstrated a higher efficiency of information transfer in the brain.

Then, we examined the effects of Guqin music on neural networks in different frequency bands and differences between musical excerpts. Functional connectivity was evaluated with phase lag index that was not likely to be biased by volume conduction. Music perception showed an increased synchronization of cortical regions and a more random network structure. The pattern changes could be detected particularly in the alpha2 band. Furthermore, differences were not observed between musical pieces. These findings provide evidence for the reorganization of brain functional networks while listening to music. Music perception leads to an emergence of a more efficient but less economical configuration and demands more information processing as well as cognitive effort.

Finally, cross-cultural musical effects on brain functional networks in different bands were investigated. In comparison with Guqin music, piano music was found to

induce a higher synchronization level and a more small-world network architecture. The differences between Guqin and piano music were observed mainly in the alpha1 band.

The above studies deepen our understanding of the neural mechanism as well as the pattern of functional connectivity under music perception.

**Keywords:** Music perception; Brain networks; Complex networks; Cross-cultural music; Electroencephalography

# 目 录

第一章 绪论 .....	1
1.1 音乐认知研究 .....	1
1.1.1 音乐认知的神经基础 .....	1
1.1.2 音乐所引发情绪的神经基础 .....	3
1.1.3 音乐与语言认知的对比 .....	5
1.1.4 音乐对认知的影响 .....	7
1.2 脑电信号分析技术介绍 .....	8
1.3 本文的研究内容 .....	16
1.4 论文的组织结构 .....	17
第二章 脑网络研究概述 .....	19
2.1 脑网络与复杂网络 .....	19
2.2 脑网络分析 .....	24
2.2.1 结构性脑网络 .....	24
2.2.2 功能性脑网络 .....	25
2.2.3 因效性脑网络 .....	26
2.3 脑网络中结构性与功能性连接的关系 .....	27
2.4 脑网络分析在脑疾病中的应用 .....	29
2.5 脑网络与认知 .....	31
2.6 本章小结 .....	32
第三章 古琴音乐认知状态下 alpha 频段功能网络分析 .....	33
3.1 引言 .....	33
3.2 实验方法 .....	35
3.2.1 被试和材料 .....	35
3.2.2 EEG 记录 .....	35

3.2.3 相位相干 .....	36
3.2.4 图论分析 .....	37
3.2.5 统计分析 .....	39
3.3 实验结果 .....	39
3.4 讨论 .....	45
3.5 本章小结 .....	48
<b>第四章 古琴音乐对各频段功能网络的影响研究 .....</b>	<b>49</b>
4.1 引言 .....	49
4.2 实验方法 .....	51
4.2.1 被试和材料 .....	51
4.2.2 EEG 记录 .....	52
4.2.3 功率谱分析 .....	52
4.2.4 相滞指数计算 .....	53
4.2.5 网络分析 .....	54
4.2.6 统计分析 .....	55
4.3 实验结果 .....	56
4.4 讨论 .....	62
4.5 本章小结 .....	65
<b>第五章 不同文化特征的音乐对功能网络的影响研究 .....</b>	<b>66</b>
5.1 引言 .....	66
5.2 实验方法 .....	70
5.3 实验结果与讨论 .....	71
5.4 本章小结 .....	75
<b>第六章 总结与展望 .....</b>	<b>76</b>
6.1 研究工作总结 .....	76
6.2 未来展望 .....	77



参考文献 .....	78
攻读学位期间发表的学术论文和从事的科研项目 .....	100
致 谢 .....	101

厦门大学博士论文摘要库

# Contents

<b>Chapter 1 Introduction</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Music Cognition</b>	<b>1</b>
1.1.1 The Neural Basis of Music Perception	1
1.1.2 The Neural Basis of Music-Evoked Emotions	3
1.1.3 Music and Language Perception	5
1.1.4 The Effects of Music on Cognition	7
<b>1.2 EEG Technique</b>	<b>8</b>
<b>1.3 Study Contents</b>	<b>16</b>
<b>1.4 Organization</b>	<b>17</b>
<b>Chapter 2 Review of Brain Networks</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Complex Brain Networks</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Graph Theoretical Analysis of Brain Networks</b>	<b>24</b>
2.2.1 Structural Networks	24
2.2.2 Functional Networks	25
2.2.3 Effective Networks	26
<b>2.3 Structure-Function Relations in Brain Networks</b>	<b>27</b>
<b>2.4 Clinical Aspects</b>	<b>29</b>
<b>2.5 Cognitive Aspects</b>	<b>31</b>
<b>2.6 Summary</b>	<b>32</b>
<b>Chapter 3 Graph Theoretical Analysis of Alpha-Band Functional Networks during Guqin Music Perception</b>	<b>33</b>
<b>3.1 Introduction</b>	<b>33</b>
<b>3.2 Methods</b>	<b>35</b>
3.2.1 Subjects and Materials	35

3.2.2 EEG Recording .....	35
3.2.3 Phase Coherence .....	36
3.2.4 Graph Analysis .....	37
3.2.5 Statistical Analysis .....	39
<b>3.3 Results .....</b>	<b>39</b>
<b>3.4 Discussion .....</b>	<b>45</b>
<b>3.5 Summary .....</b>	<b>48</b>
<b>Chapter 4 The Effects of Guqin Music on Functional Networks in Different Frequency Bands.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1 Introduction .....</b>	<b>49</b>
<b>4.2 Methods.....</b>	<b>51</b>
4.2.1 Subjects and Materials .....	51
4.2.2 EEG Recording .....	52
4.2.3 Power Spectral Analysis.....	52
4.2.4 Calculation of Phase Lag Index .....	53
4.2.5 Network Analysis.....	54
4.2.6 Statistical Analysis .....	55
<b>4.3 Results .....</b>	<b>56</b>
<b>4.4 Discussion .....</b>	<b>62</b>
<b>4.5 Summary .....</b>	<b>65</b>
<b>Chapter 5 The Effects of Cross-Cultural Music on Brain Functional Networks.....</b>	<b>66</b>
<b>5.1 Introduction .....</b>	<b>66</b>
<b>5.2 Methods.....</b>	<b>70</b>
<b>5.3 Results and Discussion.....</b>	<b>71</b>
<b>5.4 Summary .....</b>	<b>75</b>

<b>Chapter 6 Conclusions and Prospects.....</b>	<b>76</b>
<b>6.1 Conclusions .....</b>	<b>76</b>
<b>6.2 Future Works .....</b>	<b>77</b>
<b>References.....</b>	<b>78</b>
<b>Publications .....</b>	<b>100</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>101</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 音乐认知研究

2002年7月，由加、英、美三国学者共同参与的“音乐之脑”（the musical brain）高级研讨会上，针对音乐认知的研究占了约30%，音乐认知研究正逐渐成为研究的热点。音乐欣赏及创作过程涉及几乎所有的认知过程，包括知觉、学习、记忆、注意和情绪等等，从神经科学角度研究音乐认知对于揭示大脑之谜具有重要的科学意义。

近年来，音乐与大脑功能的关系日益受到关注，研究表明音乐能够促进多种认知能力的增强与提高，主要有时空推理能力、表象能力（imagery ability）、记忆能力、语言能力甚至智力水平。全面而系统地探讨音乐与认知能力的相互关系及其脑机制具有极大的现实意义。

人从出生开始就能够感知音乐，甚至有研究发现母亲体内的胎儿在听到音乐时就会有所反应。那么，人究竟是如何感知与理解音乐的呢？音乐对人又会产生怎样的影响呢？研究者从认知心理学和认知神经科学的角度进行了大量的研究。

#### 1.1.1 音乐认知的神经基础

音乐认知是一个整体的加工过程，例如人们在聆听音乐时不可能只注意乐曲中的旋律而不关注其音调。然而在传统的认知神经科学体系中，研究者往往根据音乐的基本特征，如音调（pitch）、节奏（rhythm）、旋律（melody）及音色（timbre）等，将对音乐的加工划分为相对独立的模块<sup>[1-3]</sup>。

对失歌症（amusia）患者及脑损伤病人的研究证实了模块化假设的合理性。许多脑部受损的病患均表现出音乐能力的选择性丧失，他们在失去某些音乐能力的同时还保留着其他音乐能力。例如，有个右颞区损伤的病人失去了识别音色的能力，却仍保留对节奏、旋律及音调的认知能力，这意味着对音色的

加工存在特定的神经回路<sup>[4]</sup>。一位左颞顶区受损的音乐家尽管保留了对韵律（metre）的辨识以及对旋律加工的正常表现，却失去了识别与重现节奏的能力，说明对节奏的加工独立于对韵律和旋律的加工<sup>[5]</sup>。另外，还有研究发现了对音调与节奏加工的分离<sup>[6]</sup>、韵律与节奏认知的分离<sup>[7]</sup>。上述研究结果说明大脑对音乐特征的加工确实存在模块化结构，因而可以分别考察不同音乐属性的认知过程。

### (1) 音调

音调又称为音高，是人对声音频率的主观评价。音调感知是听觉系统模式识别的经典代表<sup>[8]</sup>，许多科学家都是以音调作为切入点进行音乐认知的研究，人们对音调认知的了解也最为全面和彻底。Zatorre 等通过正电子发射断层扫描（positron emission tomography, PET）技术研究发现了涉及音调加工的脑区位于左额叶背外侧皮层后部<sup>[9]</sup>。Johnsrude 等发现右颞叶损伤的病患比较难以对音调变化的方向进行判断，这表明右侧听皮层对音调方向的加工发挥着重要作用<sup>[10]</sup>。采用功能磁共振成像（functional magnetic resonance imaging, fMRI）的研究为颞平面以及额叶背外侧皮层后部在音调认知中扮演着重要角色提供了进一步的证据<sup>[11-13]</sup>。基于磁共振成像（magnetic resonance imaging, MRI）、脑磁图（magnetoencephalography, MEG）和事件相关电位（event-related potential, ERP）的研究结果显示对音调的认知加工呈现右偏侧化<sup>[14, 15]</sup>。更有研究还发现猕猴同样能够感知音调，并且涉及的神经结构与人相同<sup>[16]</sup>。

### (2) 节奏

音乐中音符长短、强弱交替中的时间间隔让人产生节奏感。节奏与时间过程的联系相当紧密，节奏知觉必然牵涉到大脑对时间信息的加工。对颞叶切除的病人进行研究发现颞叶听皮层参与了节奏认知，并且存在右偏侧化现象<sup>[17]</sup>。利用 PET 的研究则发现对节奏的加工呈现左偏侧化，激活区域有布洛卡氏区（Broca's area），并延伸到邻近的脑岛<sup>[18]</sup>。通过 fMRI 技术发现节奏感知的神经相关物位于左下顶区、右额盖及双侧上颞区<sup>[19]</sup>。这些研究说明节奏认知涉及了

大范围的神经结构。

### (3) 旋律

旋律融合了音符序列的整体轮廓曲线以及各音符之间的间隔关系。对旋律信息的加工有两种形式的编码，其中轮廓编码（contour code）描述音调变化的升降模式，而音程编码（interval code）描述连续音符之间的音调距离。对脑部受损病患的研究发现，大脑左半球负责旋律中的音程加工，旋律中的轮廓加工则与右半球相对应。基于 PET<sup>[20]</sup>、MEG<sup>[21]</sup> 技术以及对癫痫（epilepsy）患者<sup>[7]</sup> 的研究结果还表明上颞区参与了旋律的认知加工。

### (4) 音色

音色又称为音品，是指由各泛音的相对强度决定的声音品质。它使人们得以辨别出不同乐器甚至不同人发出的声音。最早对音色的认知研究是 1962 年对脑损伤病患的一个研究，结果发现右颞叶受损病人对音色的识别能力差于左颞叶受损者。后来 Samson 等<sup>[22]</sup> 及 Kohlmetz 等<sup>[4]</sup> 的研究也进一步证实了右颞叶在音色感知中扮演了重要的角色。

针对音乐认知的研究早期主要通过对脑部受损病人的观察提出假设，随着各种电生理与脑成像技术的进步，研究人员可以根据更为客观且精确的证据来探讨音乐认知的神经机制，这就使关于音乐认知的研究能够朝更加科学的方向发展。

## 1.1.2 音乐所引发情绪的神经基础

音乐在诱发各种复杂情绪上具有举足轻重的作用。那么，大脑对音乐的情绪与非情绪成分的认知过程是否有区别？不同音乐情绪的认知加工是否有所不同？

关于音乐情绪认知有两个脑损伤病例：其中一个虽然丧失了对音乐的正常辨别能力，却表现出对音乐情感的认知能力<sup>[23]</sup>；而另一个保留了对旋律结构、节奏和韵律等的感知能力，却失去了对音乐情绪的识别能力<sup>[24]</sup>。这意味着对音

乐情绪成分的加工存在特殊的神经结构。不同音乐情绪的认知研究进一步发现，不同类型的情绪加工所涉及的脑区并不相同。

#### (1) 不愉快的情绪 (unpleasant emotion)

Blood 等利用 PET 技术考察了与音乐情感反应有关的脑血流量 (cerebral blood flow, CBF) 变化, 研究发现不和谐乐曲所引发的不愉快感涉及楔前叶及右海马旁回的参与, 并且随着音乐和谐程度的增加, 活跃区域包括中部胼胝体下回及右眶额皮层。由此他们推断音乐引起的不愉悦情绪与右海马旁回 (同杏仁核相连) 有关<sup>[25]</sup>。

#### (2) 愉悦的情绪 (pleasant emotion)

随后, Blood 等通过相同的成像手段对一种非常强烈的愉快体验“打冷噤” (chill) 进行研究, 结果显示涉及的脑区主要有腹内侧前额皮层、眶额皮层、腹侧纹状体、中脑以及杏仁核<sup>[26]</sup>。以上两个研究均发现了腹内侧前额皮层的参与, 说明腹内侧前额皮层对于感知乐曲中的愉悦情绪发挥着重要作用。

#### (3) 悲伤的情绪 (sad emotion)

Khalfa 等借助功能磁共振成像技术对正面与负面的音乐情绪进行研究, 他们发现表达悲伤的小调调式涉及了左眶与中背外侧额皮层的参与<sup>[27]</sup>。

#### (4) 惊惶的情绪 (scary emotion)

Gosselin 等让单侧颞叶切除的病人聆听引发快乐、悲伤、惊惶以及宁静情绪的音乐, 结果发现受试者能够辨认出快乐与悲伤的音乐, 却无法识别具有恐惧情绪的音乐。这表明前内侧颞叶 (包括杏仁核) 在识别音乐上下文中的危险时起作用<sup>[28]</sup>。

上述研究结果显示皮层下区域及边缘系统在音乐情绪的认知加工中扮演着重要的角色。情绪原本就是个抽象的概念, 由音乐引发的情绪则更为复杂, 相关的研究就显得较为困难。不过以上研究也说明了通过科学手段对音乐情绪认知进行研究具有可行性。从目前的研究发现上看, 研究者对参与音乐情感认知的神经回路存在争论, 这也正符合情绪本身所具备的复杂性特点。因而对音乐



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库